

PEMODELAN KASUS KEMATIAN IBU HAMIL DI JAWA TENGAH DENGAN PENDEKATAN *GEOGRAPHICALLY WEIGHTED REGRESSION (GWR)* DAN *MIXED GWR*

Anugrah Rawiyah Salma^{1*}, Sugito², Ardiana Alifatus Sa'adah³

^{1,2,3}Jurusan Statistika, Fakultas Sains dan Matematika, Universitas Diponegoro

*e-mail: salmarawiya@gmail.com

DOI: 10.14710/j.gauss.13.1.25-35

Article Info:

Received: 2023-05-30

Accepted: 2024-08-15

Available Online: 2024-09-13

Keywords:

Maternal mortality; GWR; *Mixed GWR*; *fixed gaussian*

Abstract: Global maternal mortality reduction remains a part of The Sustainable Development Goals (SDGs). Maternal death in Central Java increased in 2021, with the leading cause is related to Covid-19. Maternal mortality in Central Java is demonstrated using Geographically Weighted Regression (GWR) for addressing the spatial heterogeneity aspects. Cross Validation is used to determine the optimal bandwidth and Euclidean distance used to discover the weighting matrix. Independent variables such as number of nurse, number of primary clinic, and household percentage with safe water supply are identified as local variables, whereas other independent variables, such as complications from delivery management and number of poverty are identified as global variables, hence the Mixed GWR model, which combine both local and global variables, is used. Based on the value of AIC, MSE, also adjusted R^2 , the optimal model for analyzing the maternal mortality is Mixed GWR with fixed Gaussian weighting.

1. PENDAHULUAN

Kemunculan pandemi Covid-19 menyporoti perbedaan yang sangat besar dalam masalah kerentanan kesehatan, baik bagi sistem kesehatan individu maupun masyarakat, salah satunya adalah pada kasus kematian ibu hamil. Data WHO menunjukkan angka kematian ibu (indeks yang menunjukkan kematian ibu) secara global pada tahun 2021 adalah sebesar 158,8 kematian per 100.000 kelahiran, meningkat dari tahun 2020 yang memiliki angka kematian sebesar 157,1 kematian. Data dari Kementerian Indonesia menunjukkan kenaikan kasus kematian ibu di tahun 2021, dengan sebagian besar penyebabnya terkait dengan Covid-19 (Profil Kesehatan Indonesia, 2021). Provinsi Jawa Tengah juga menunjukkan adanya kenaikan jumlah kematian di tahun 2021. Sama halnya dengan kasus di Indonesia, penyebab kematian ibu di Jawa Tengah sebagian besar terkait dengan Covid-19 (sebesar 55.2%).

Perubahan jumlah kasus kematian selama pandemi ini dapat terjadi karena kondisi-kondisi yang berhubungan dengan Covid-19 (seperti masalah pernapasan atau infeksi virus) ataupun kondisi kesehatan yang diperburuk oleh Covid-19 (Thoma, et al., 2022). Sektor kesehatan maupun sektor sosial ekonomi dapat berpengaruh dalam kematian ibu. Kematian ibu berhubungan dengan sektor akses ke sanitasi yang layak (Girum dan Wasie, 2017); kemiskinan; layanan kesehatan yang kurang layak, kurang aksesibel, dan kurang terjangkau (Sitaula, et al., 2021); persebaran penyakit/penyakit yang bersifat epidemi (Calvert, et al., 2020 dan Girum dan Wasie, 2017); sosial-ekonomi (Girum dan Wasie, 2017 dan Jeong et al., 2020). Aspek-aspek yang memengaruhi kematian ibu tersebut menunjukkan perbedaan di tiap wilayah. Kematian ibu di negara berkembang memiliki kasus lebih tinggi dibandingkan di negara maju, di mana ibu di negara berpenghasilan rendah memiliki risiko kematian yang lebih tinggi (Girum, Wasie, 2017 dan WHO, 2023).

Variasi faktor penyebab kematian ibu di wilayah yang berbeda menunjukkan adanya hubungan antara jumlah kematian ibu dan faktor spasial (kewilayahan). Model Geographically Weighted Regression (GWR) dapat digunakan dalam analisis spasial karena dapat digunakan untuk mengeksplorasi keragaman spasial. Dalam model GWR dihasilkan parameter model yang memiliki nilai berbeda-beda (memiliki sifat lokal) pada setiap lokasi pengamatan. Model GWR yang terdeteksi adanya variabel yang bernilai sama (bersifat global) untuk seluruh wilayah pengamatan menjadikan model GWR kurang tepat untuk digunakan, sehingga model GWR kemudian dikembangkan lebih lanjut menjadi model *Mixed GWR*. Model *Mixed Geographically Weighted Regression (Mixed GWR)* ialah kombinasi antara model regresi global dan model regresi yang memiliki pembobot (Fotheringham, et al., 2002), di mana sebagian variabel memiliki sifat lokal dan sebagian lainnya memiliki sifat global. Estimasi pada model *Mixed GWR* diperoleh dari metode regresi terboboti seperti model GWR, dengan membentuk matriks pembobot di setiap wilayah observasi sebagai langkah awal (Fotheringham, et al., 2002). Tujuan penelitian ini ialah memodelkan kasus kematian ibu di Provinsi Jawa Tengah tahun 2021 melalui metode GWR dan *Mixed GWR*, serta mengidentifikasi variabel yang berpengaruh secara global dan lokal.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Kematian ibu hamil (*maternal mortality*) didefinisikan sebagai jumlah tahunan kematian perempuan pada saat hamil atau selama 42 hari sejak terminasi kehamilan yang disebabkan karena kehamilan atau pengelolannya dan bukan karena sebab-sebab lain (WHO, 2023). Penurunan kasus kematian ibu menjadi target dalam isu kesehatan baik secara global maupun nasional.

Model *Geographically Weighted Regression* ialah pengembangan model regresi guna mengatasi asumsi heteroskedastisitas, dengan membentuk parameter yang dapat diestimasi di manapun. Model GWR memiliki persamaan (Fotheringham, et al., 2002):

$$Y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_{k=1}^p \beta_k(u_i, v_i) x_{ik} + \varepsilon_i, i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

dengan Y_i adalah nilai pengamatan variabel terikat untuk lokasi ke- i , $\beta_0(u_i, v_i)$ adalah nilai intercept model regresi GWR, $\beta_k(u_i, v_i)$ adalah koefisien regresi variabel bebas ke- k untuk lokasi ke- i , (u_i, v_i) adalah titik koordinat wilayah ke- i , dengan u adalah *longitude* dan v adalah *latitude*, x_{ik} adalah nilai pengamatan variabel prediktor ke- k untuk lokasi ke- i , ε_i adalah residual ke- i , yang memiliki asumsi identik, independen, dan berdistribusi normal. Persamaan estimasi parameter model GWR:

$$\hat{\beta}(u_i, v_i) = (\mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i) \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{W}(u_i, v_i) \mathbf{Y} \quad (2)$$

dengan $\mathbf{W}(u_i, v_i)$ merupakan matriks pembobot.

Parameter model GWR diestimasi dengan metode kuadrat terkecil yang memiliki bobot berbeda-beda di setiap lokasi pengamatan, sehingga dalam memodelkan GWR diperlukan pembentukan matriks pembobot (Fotheringham, et al., 2002). Pembobot GWR dapat ditentukan menggunakan fungsi kernel, yang mengisolasi ketetangaan dalam pengamatan (Yachim dan Boschhoff, 2019). Fungsi kernel dibagi menjadi fungsi pembobot *gaussian* dan *bisquare* (Leung, et al., 2000):

- Fungsi pembobot *gaussian*

$$w_{ij} = \exp\left(-\left(\frac{d_{ij}}{h}\right)^2\right) \quad (3)$$

- Fungsi pembobot *bisquare*

$$w_{ij} = \begin{cases} \left(1 - \left(\frac{d_{ij}}{h}\right)^2\right)^2, & \text{jika } d_{ij} < h \\ 0, & \text{lainnya} \end{cases} \quad (4)$$

dengan d_{ij} merupakan jarak euclidean antar lokasi observasi dan h adalah *bandwidth*. Pemilihan fungsi pembobot dapat dilakukan menggunakan perbandingan *Akaike Information Criterion* (AIC) (Purhadi dan Yasin, 2012).

Bandwidth berperan sangat penting dalam pendugaan parameter menggunakan GWR, karena bandwidth menggambarkan jarak maksimum suatu lokasi yang memengaruhi lokasi lainnya. Pemilihan bandwidth memiliki dampak yang besar pada hasil GWR (Fotheringham, et al., 2002). Bandwidth dapat dianggap sebagai penghalus (*smoothing*) parameter, dengan semakin besar nilai bandwidth, penghalus parameternya juga semakin besar. Penentuan bandwidth dapat ditentukan dengan metode *Cross Validation* (CV). Bandwidth optimum adalah yang meminimumkan nilai *Cross Validation* (CV), dengan rumus (Fotheringham dan Charlton, 2002):

$$CV = \sum_{i=1}^n [y_i - \hat{y}_{\neq i}(h)]^2, i = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

dengan y_i adalah pengamatan di lokasi ke- i dan $\hat{y}_{\neq i}(h)$ adalah nilai penduga y_i , di mana pengamatan di lokasi i (u_i, v_i) dihilangkan dari proses penaksiran.

Beberapa pengujian dilakukan pada model GWR untuk mengetahui apakah model GWR yang dihasilkan menunjukkan peningkatan yang signifikan dibanding model regresi global (apakah model sesuai), serta apakah parameternya bervariasi di setiap daerah (Fotheringham et al., 1999 dan Leung et al., 2000). Pengujian pertama dilakukan untuk mengetahui apakah model GWR berbeda secara signifikan dengan regresi global, dengan hipotesis:

$$H_0: \beta_k(u_i, v_i) = \beta_k, \text{ untuk } k = 0, 1, \dots, p, i = 1, 2, \dots, n$$

$$H_1: \text{minimal ada satu } \beta_k(u_i, v_i) \neq \beta_k, \text{ untuk } k = 0, 1, \dots, p, i = 1, 2, \dots, n$$

Statistik Uji

$$F_1 = \frac{SSE_o - SSE_g/v}{SSE_g/\delta_1} \quad (6)$$

$$SSE_o = \sum_{i=1}^n \hat{\epsilon}_i^2 = \hat{\epsilon}^T \hat{\epsilon} = (Y - \hat{Y})^T (Y - \hat{Y}) = Y^T (I - H) Y \quad (7)$$

$$H = X(X^T X)^{-1} X^T \quad (8)$$

$$RSS_g = \sum_{i=1}^n \hat{\epsilon}_i^2 = \hat{\epsilon}^T \hat{\epsilon} = (Y - \hat{Y})^T (Y - \hat{Y}) = Y^T (I - S)^T (I - S) Y \quad (9)$$

$$S = \begin{bmatrix} x_1^T (X^T W(u_1, v_1) X)^{-1} X^T W(u_1, v_1) \\ x_2^T (X^T W(u_2, v_2) X)^{-1} X^T W(u_2, v_2) \\ \vdots \\ x_n^T (X^T W(u_n, v_n) X)^{-1} X^T W(u_n, v_n) \end{bmatrix} \quad (10)$$

H_0 ditolak jika $F_1 > F_{(\alpha; df_1, df_2)}$ atau $p - \text{value} < \alpha$, dengan $df_1 = \frac{v_1^2}{v_2}$, $df_2 = \frac{\delta_1^2}{\delta_2}$ (dengan nilai $v_i = \text{tr}(R_o - R_g)$ dan $\delta_1 = \text{tr}(R_g)$), maka terdapat perbedaan antara regresi global dan GWR secara signifikan.

Pengujian parsial pengaruh lokasi dilakukan terhadap model GWR sebagai berikut.

$$H_0: \beta_1(u_1, v_1) = \beta_2(u_2, v_2) = \dots = \beta_k(u_n, v_n), k = 0, 1, \dots, p, i = 1, 2, \dots, n \text{ (tidak terdapat perbedaan antara variabel } X_k \text{ antara satu wilayah dengan wilayah lainnya secara signifikan)}$$

$$H_1: \text{minimal terdapat satu } \beta_k(u_i, v_i) \neq \beta_p(u_n, v_n), k = 0, 1, \dots, p, i = 1, 2, \dots, n \text{ (terdapat perbedaan antara variabel } X_k \text{ antara satu wilayah dengan wilayah lainnya secara signifikan)}$$

Statistik uji

$$F_3 = \frac{V_k^2/\gamma_1}{\hat{\sigma}^2} \quad (11)$$

$$V_k^2 = \frac{1}{n} [\mathbf{Y} - E(\mathbf{Y})]^T \mathbf{B}^T \left(1 - \frac{1}{n} \mathbf{J}\right) \mathbf{B} [\mathbf{Y} - E(\mathbf{Y})] = \boldsymbol{\varepsilon}^T \left[\frac{1}{n} \mathbf{B}^T \left(1 - \frac{1}{n} \mathbf{J}\right) \mathbf{B}\right] \boldsymbol{\varepsilon} \quad (12)$$

$$\gamma_i = \text{tr} \left[\frac{1}{n} \mathbf{B}^T \left(1 - \frac{1}{n} \mathbf{J}\right) \mathbf{B}\right]^i, i=1,2 \quad (13)$$

$\boldsymbol{\varepsilon}$ merupakan vektor kolom error, \mathbf{J} ialah matriks dengan ukuran $n \times n$ di mana semua elemennya adalah 1, \mathbf{B} ialah matriks dengan nilai $\mathbf{e}_k^T [\mathbf{X}^T \mathbf{W}(i) \mathbf{X}]^{-1} \mathbf{X}^T \mathbf{W}(i)$, \mathbf{e}_k ialah vektor kolom berukuran $(k+1)$, bernilai 1 untuk elemen ke- k , 0 untuk lainnya.

H_0 ditolak jika $F_3 > F_{(\alpha; df_1; df_2)}$ atau $p - \text{value} < \alpha$, $df_1 = \frac{\gamma_1^2}{\gamma_2}$, $df_2 = \frac{\delta_1^2}{\delta_2}$

Mixed GWR dapat dimodelkan jika tidak seluruh model independen dalam model GWR berpengaruh secara lokal, melainkan secara global (Purhadi dan Yasin, 2012). Model *Mixed* GWR yang memiliki p variabel prediktor dan q variabel prediktor yang bersifat lokal, maka persamaannya (Fotheringham, et al., 2002):

$$y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_{k=1}^q \beta_k(u_i, v_i) x_{ik} + \sum_{k=q+1}^p \beta_j x_{ik} + \varepsilon_i, i = 1, 2, \dots, n \quad (14)$$

dengan

y_i : nilai variabel dependen observasi ke- i

x_{ik} : nilai observasi variabel independen ke- k pada titik pengamatan ke- i

$\beta_0(u_i, v_i)$: konstanta/*intercept* pada pengamatan ke- i

(u_i, v_i) : koordinat geografis pada pengamatan ke- i

$\beta_k(u_i, v_i)$: nilai observasi variabel independen ke- k pada titik pengamatan ke- i

β_j : nilai observasi variabel independen ke- j

ε_i : *error* pengamatan ke- i

Pendugaan parameter model *Mixed* GWR terdiri atas:

- Estimasi global (β_g), dengan persamaan

$$\hat{\beta}_g = [\mathbf{X}_g^T (\mathbf{I} - \mathbf{S}_l)^T (\mathbf{I} - \mathbf{S}_l) \mathbf{X}_g]^{-1} \mathbf{X}_g^T (\mathbf{I} - \mathbf{S}_l)^T (\mathbf{I} - \mathbf{S}_l) \mathbf{y} \quad (15)$$

$$\text{dengan } \mathbf{S}_l = \begin{pmatrix} \mathbf{x}_l^T(1) [\mathbf{X}_l^T \mathbf{W}(u_1, v_1) \mathbf{X}_l]^{-1} \mathbf{X}_l^T \mathbf{W}(u_1, v_1) \\ \mathbf{x}_l^T(2) [\mathbf{X}_l^T \mathbf{W}(u_2, v_2) \mathbf{X}_l]^{-1} \mathbf{X}_l^T \mathbf{W}(u_2, v_2) \\ \vdots \\ \mathbf{x}_l^T(n) [\mathbf{X}_l^T \mathbf{W}(u_n, v_n) \mathbf{X}_l]^{-1} \mathbf{X}_l^T \mathbf{W}(u_n, v_n) \end{pmatrix} \quad (16)$$

- Estimasi lokal $\beta_k(u_i, v_i)$, dengan persamaan

$$\hat{\beta}_l(i) = [\mathbf{X}_l^T \mathbf{W}(u_i, v_i) \mathbf{X}_l]^{-1} \mathbf{X}_l^T \mathbf{W}(u_i, v_i) \tilde{\mathbf{y}} \quad (17)$$

Beberapa pengujian terhadap model *Mixed* GWR:

1. Pengujian kesesuaian model/*goodness of fit*

Hipotesis

$H_0: \beta_k(u_i, v_i) = \beta_k(u_j, v_j)$, $k = 0, 1, 2, \dots, q$; $i = 1, 2, \dots, n$ (tidak terdapat perbedaan antara model *Mixed* GWR dan regresi global secara signifikan)

H_1 : setidaknya ada satu $\beta_k(u_i, v_i) \neq \beta_k(u_j, v_j) = 0$ (ada perbedaan antara model *Mixed* GWR dan regresi global secara signifikan, k =indeks koefisien variabel global)

Statistik Uji

$$F_1 = \frac{\mathbf{y}^T [(\mathbf{I} - \mathbf{H})^T - (\mathbf{I} - \mathbf{S})^T (\mathbf{I} - \mathbf{S})] \mathbf{y} / v_1}{\mathbf{y}^T (\mathbf{I} - \mathbf{S})^T (\mathbf{I} - \mathbf{S}) \mathbf{y} / u_1} = \frac{DSS_1 / v_1}{SSE(H_1) / u_1} \quad (18)$$

dengan

$$\mathbf{H} = \mathbf{X} (\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \quad (19)$$

$$\mathbf{S} = \mathbf{S}_l + (\mathbf{I} - \mathbf{S}_l) \mathbf{X}_g [\mathbf{X}_g^T (\mathbf{I} - \mathbf{S}_l)^T (\mathbf{I} - \mathbf{S}_l) \mathbf{X}_g]^{-1} \mathbf{X}_g^T (\mathbf{I} - \mathbf{S}_l)^T (\mathbf{I} - \mathbf{S}_l) \quad (20)$$

$$v_i = \text{tr}([(I - H) - (I - S)^T(I - S)]^i), i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (21)$$

$$u_i = \text{tr}((I - S)^T - (I - S)^i), i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (22)$$

$$DSS_1 = \mathbf{y}^T [(I - H) - (I - S)^T(I - S)^T(I - S)]\mathbf{y} \quad (23)$$

$$SSE(H_1) = \mathbf{y}^T(I - S)^T(I - S)\mathbf{y} \quad (24)$$

H_0 ditolak jika $F_1 \text{ hitung} \geq F_{(\alpha, df_1, df_2)}$ atau $p - \text{value} < \alpha$ dengan derajat kebebasan $df_1 = v_1^2/v_2$ dan $df_2 = u_1^2/u_2$

2. Pengujian Serentak Parameter Model *Mixed* GWR

a. Pengujian serentak untuk parameter global

Hipotesis

$H_0: \beta_{q+1} = \beta_{q+2} = \dots = \beta_p = 0$ (parameter variabel prediktor yang bersifat global secara serentak tidak berpengaruh terhadap variabel respon)

H_1 : minimal terdapat satu $\beta_k \neq 0, k = q + 1, q + 2, \dots, p$ (parameter variabel prediktor yang bersifat global secara serentak berpengaruh terhadap variabel respon)

Statistik uji

$$F_2 = \frac{\mathbf{y}^T[(I - S_l)^T(I - S_l) - (I - S)^T(I - S)]\mathbf{y}/r_1}{\mathbf{y}^T(I - S)^T(I - S)\mathbf{y}/u_1} = \frac{DSS_2/r_1}{SSE(H_1)/u_1} \quad (25)$$

dengan

$$\mathbf{S}_g = \mathbf{X}_g(\mathbf{X}_g^T\mathbf{X}_g)^{-1}\mathbf{X}_g^T \quad (26)$$

$$r_i = \text{tr}([(I - S_l)^T(I - S_l) - (I - S)^T(I - S)]^i), i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (27)$$

$$DSS_2 = \mathbf{y}^T [(I - S_l)^T(I - S_l) - (I - S)^T(I - S)]\mathbf{y} \quad (28)$$

H_0 ditolak jika $F_2 \text{ hitung} \geq F_{(\alpha, df_1, df_2)}$ atau $p - \text{value} < \alpha$ dengan derajat kebebasan $df_1 = r_1^2/r_2$ dan $df_2 = u_1^2/u_2$

b. Pengujian serentak untuk parameter lokal

Hipotesis

$H_0: \beta_1(u_i, v_i) = \beta_2(u_i, v_i) = \dots = \beta_q = 0$ (parameter variabel prediktor lokal secara serentak tidak berpengaruh terhadap variabel respon)

H_1 : minimal ada satu $\beta_k(u_i, v_i) \neq 0$ (parameter variabel prediktor lokal secara serentak berpengaruh terhadap variabel respon)

Statistik uji

$$F_3 = \frac{\mathbf{y}^T[(I - S_g)^T(I - S_g) - (I - S)^T(I - S)]\mathbf{y}/t_1}{\mathbf{y}^T(I - S)^T(I - S)\mathbf{y}/u_1} = \frac{DSS_3/t_1}{SSE(H_1)/u_1} \quad (29)$$

dengan

$$\mathbf{S}_g = \mathbf{X}_g(\mathbf{X}_g^T\mathbf{X}_g)^{-1}\mathbf{X}_g^T \quad (30)$$

$$t_1 = \text{tr}([(I - S_g)^T(I - S_g) - (I - S)^T(I - S)]^i), i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (31)$$

$$u_i = \text{tr}((I - S)^T(I - S)^i), i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (32)$$

$$DSS_3 = \mathbf{y}^T [(I - S_g)^T(I - S_g) - (I - S)^T(I - S)]\mathbf{y} \quad (33)$$

H_0 ditolak jika $F_3 \text{ hitung} \geq F_{(\alpha, df_1, df_2)}$ atau $p - \text{value} < \alpha$ dengan derajat kebebasan $df_1 = t_1^2/t_2$ dan $df_2 = u_1^2/u_2$

3. Pengujian parsial signifikansi parameter model

Pengujian dilakukan terhadap variabel yang bersifat global $x_k (q + 1 \leq k \leq p)$:

Hipotesis

$H_0: \beta_k = 0$ (parameter variabel global x_k tidak signifikan)

$H_1: \beta_k \neq 0$ (parameter variabel global x_k signifikan)

Statistik uji

$$T_{g_hitung} = \frac{\hat{\beta}_k}{\hat{\sigma}\sqrt{g_{kk}}} \quad (34)$$

dengan $\hat{\sigma}^2 = \frac{y^T(I-S_l)^T(I-S_l)y}{tr((I-S_l)^T(I-S_l))}$ g_{kk} merupakan elemen diagonal ke-k dari GG^T di mana

$$G = [X_g^T(I - S_l)^T(I - S_l)X_g]^{-1}X_g^T(I - S_l)^T(I - S_l)$$

H_0 ditolak jika $T_{g_hitung} > t_{(\frac{\alpha}{2}, df)}$ atau $p - value < \alpha$ dengan $df = u_1^2/u_2$

Pengujian pada variabel lokal $x_k(1 \leq k \leq q)$ adalah:

Hipotesis

$H_0: \beta_k(u_i, v_i) = 0$ (variabel yang bersifat lokal x_k pada lokasi ke-i tidak signifikan)

$H_1: \beta_k(u_i, v_i) \neq 0$ (variabel yang bersifat lokal x_k pada lokasi ke-i signifikan)

Statistik uji

$$T_{l_hitung} = \frac{\hat{\beta}_k(u_i, v_i)}{\hat{\sigma}\sqrt{m_{kk}}} \quad (35)$$

dengan $\hat{\sigma}^2 = \frac{y^T(I-S)^T(I-S)y}{tr((I-S)^T(I-S))}$ dan m_{kk} merupakan elemen diagonal ke-k dari $M_i M_i^T$

$$\text{dengan } M_i = [X_l^T W(u_i, v_i) X_l]^{-1} X_l^T W(u_i, v_i) (I - X_g G)$$

H_0 ditolak jika $T_{l_hitung} > t_{(\frac{\alpha}{2}, df)}$ atau $p - value < \alpha$ dengan $df = u_1^2/u_2$

3. METODE PENELITIAN

Data jumlah kasus kematian ibu dan faktor-faktor pemengaruhnya di Provinsi Jawa Tengah tahun 2021 digunakan dalam penelitian ini. Data-data dalam variabel penelitian ini berdasarkan publikasi Profil Kesehatan Provinsi Jawa Tengah tahun 2021, Provinsi Jawa Tengah dalam Angka 2021, dan data publikasi Badan Pusat Statistik.

Dalam penelitian ini, variabel dependennya yaitu jumlah kematian ibu di Provinsi Jawa Tengah tahun 2021. Variabel independen yang digunakan untuk memodelkan faktor-faktor pemengaruh kematian ibu adalah variabel penanganan komplikasi kebidanan, jumlah perawat, jumlah klinik pratama, jumlah penduduk miskin, serta persentase rumah tangga yang memiliki akses terhadap sanitasi yang layak, serta variabel letak geografis, yaitu *longitude* dan *latitude*. Langkah analisis data pada penelitian ini adalah melakukan standardisasi data ke bentuk *z-score* unruk menyamakan satuan, melakukan analisis regresi global, menganalisis model GWR dan *Mixed* GWR dengan menggunakan matriks pembobot yang sama, serta melakukan perbandingan antara model yang terbentuk dengan melihat nilai *Akaike Information Criterion* (AIC), *adjusted R²*, dan MSE.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kasus kematian ibu di Provinsi Jawa Tengah beserta variabel-variabel prediktornya distandardisasi ke dalam nilai *Z-Score* karena terdapat perbedaan satuan data. Selanjutnya kasus kematian ibu dan variabel prediktornya dimodelkan dengan model regresi global, yang memenuhi asumsi normalitas residual, non-autokorelasi, serta non-multikolinearitas, dengan model akhir sebagai berikut.

$$Y = -4,955 - 0,5948Z_1$$

dengan variabel yang berpengaruh secara signifikan adalah variabel penangana komplikasi kebidanan (Z_1).

Pemodelan kasus kematian ibu dengan metode regresi global terdeteksi heteroskedastisitas, sehingga model regresi global menjadi kurang tepat dan diperlukan penanganan dengan model regresi terboboti, yaitu dengan model GWR. Pemodelan menggunakan metode GWR menggunakan tahap awal dengan membentuk matriks pembobot. Fungsi pembobot menggunakan *fixed Gaussian* dipilih karena mempunyai nilai

AIC terkecil, dengan nilai bandwidth optimum sebesar 0,4854556. Model GWR membentuk parameter yang nilainya berbeda-beda di setiap wilayah. Model GWR dilakukan beberapa pengujian, antara lain pengujian kesesuaian model (*goodness of fit*), pengujian parsial pengaruh lokasi, serta signifikansi parameter secara lokal. Pengujian kesesuaian model memperoleh hasil bahwa model GWR yang dihasilkan terdapat perbedaan secara signifikan dengan model regresi global. Pengujian parsial dilakukan untuk menentukan sifat lokal dan global dari tiap variabel independen menggunakan taraf signifikansi $\alpha = 0,05$. Hasilnya seperti pada tabel 1.

Tabel 1. Pengujian Parsial Pengaruh Lokasi Model GWR

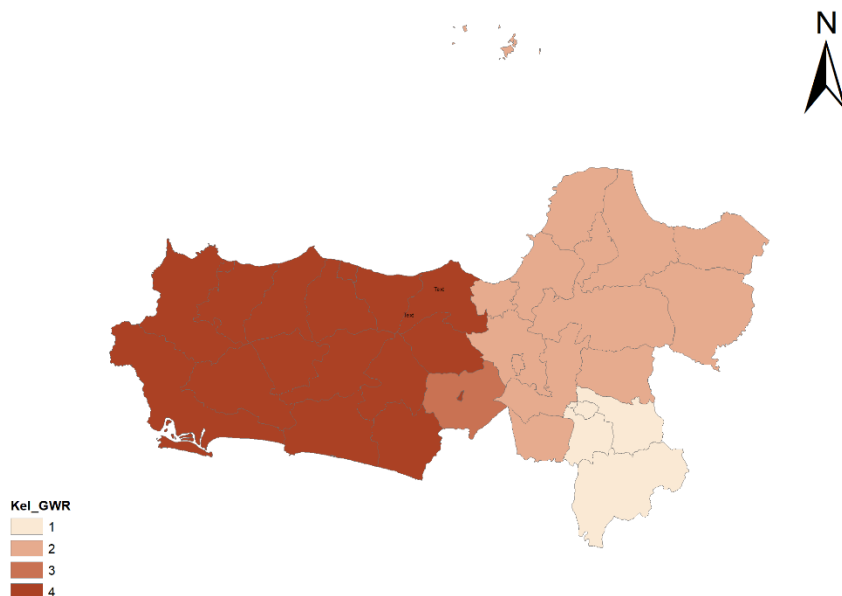
Variabel	F_3	P-Value	Keputusan	Kesimpulan
Z_1	1,049703	0,437364	Gagal tolak H_0	Tidak signifikan
Z_2	8,782790	0,000045	H_0 ditolak	Signifikan
Z_3	6,854826	0,000045	H_0 ditolak	Signifikan
Z_4	0,068311	0,999975	Gagal tolak H_0	Tidak signifikan
Z_5	2,889895	0,018487	H_0 ditolak	Signifikan

Berdasarkan pengujian tersebut, disimpulkan bahwa terdapat perbedaan signifikan pada variabel Z_2 dan Z_6 antara lokasi satu dengan lainnya, sedangkan pada variabel lainnya tidak terdapat perbedaan signifikan antara lokasi satu dengan lainnya. Pemodelan *Mixed* GWR diperlukan dengan variabel Z_2 dan Z_6 sebagai variabel lokal, dan sisanya sebagai variabel yang bernilai global. Beberapa kelompok kabupaten dan kota terbentuk sebagai hasil pengujian signifikansi parameter dalam model GWR yang dilakukan secara lokal berdasar variabel lokal yang berpengaruh secara signifikan, terdapat dalam tabel 2.

Tabel 2. Kelompok berdasar Signifikansi Parameter Model GWR

Ke-lompok	Variabel Signifikan	Kabupaten/Kota
1	$Z_1, Z_2, Z_3,$ dan Z_5	Kab Sukoharjo, Kab Wonogiri, Kab Karanganyar, Kota Surakarta
2	$Z_1, Z_2,$ dan Z_3	Kab Boyolali, Kab Klaten, Kab Sukoharjo, Kab Wonogiri, Kab Karanganyar, Kab Sragen, Kab Grobogan, Kab Blora, Kab Rembang, Kab Pati, Kab Kudus, Kab Jepara, Kab Demak, Kab Semarang, Kota Salatiga, Kota Semarang
3	Z_1 dan Z_2	Kab Magelang
4	Z_1	Kab Cilacap, Kab Banyumas, Kab Purbalingga, Kab Banjarnegara, Kab Kebumen, Kab Purworejo, Kab Wonosobo, Kab Temanggung, Kab Kendal, Kab Batang, Kab Pekalongan, Kab Pemalang, Kab Tegal, Kab Brebes, Kota Magelang, Kota Pekalongan, Kota Tegal

Peta pengelompokan kabupaten dan kota seperti pada gambar 1.



Gambar 1. Kelompok Kabupaten dan Kota dengan Model GWR

Pemodelan *Mixed GWR* dilakukan menggunakan variabel prediktor yang bernilai lokal, yakni variabel Z_2 dan Z_6 sedang variabel prediktor $Z_1, Z_3, Z_4, Z_5,$ dan Z_7 berpengaruh secara global. Beberapa hasil pengujian model *Mixed GWR* adalah sebagai berikut.

Pengujian kesesuaian model menggunakan taraf signifikansi $\alpha = 0,05$ memperoleh hasil yakni model *Mixed GWR* menggunakan pembobot *fixed gaussian* mempunyai perbedaan dibanding model regresi global secara signifikan. Hasil ujinya terdapat pada tabel 3.

Tabel 3. Pengujian Kesesuaian Model *Mixed GWR*

Sumber Variansi	Derajat bebas	Jumlah kuadrat	Rata-rata kuadrat	F-Hitung	P-Value
Improvement	20,23139	79,59790	3,93438	2,71211	0,00540
Mixed GWR	32,68733	47,41848	1,45067		
Regression	52,91872	127,01633			

Pengujian pada parameter yang sifatnya global menggunakan taraf signifikansi $\alpha = 0,05$ secara serentak memperoleh hasil bahwa variabel prediktor yang bersifat global mempunyai pengaruh terhadap variabel respon secara bersama-sama dalam pemodelan dengan pembobot *Mixed GWR* dengan pembobot *fixed gaussian*. Hasil ujinya seperti pada tabel 4.

Tabel 4. Pengujian Parameter Global *Mixed GWR* Serentak

Sumber Variansi	Derajat bebas	Jumlah kuadrat	Rata-rata kuadrat	F-Hitung	P-Value
Improvement	15,94345	1065,11736	66,8059	46,0518	0,0000
Mixed GWR	32,68733	47,41484	1,45067		
Reduced	48,63078	1192,13369			

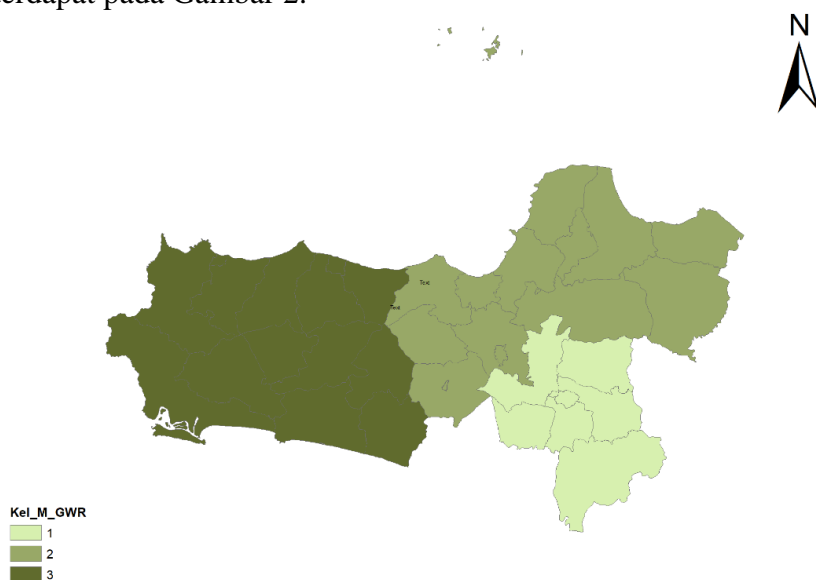
Pengujian pada parameter yang bersifat lokal (variabel Z_2 dan Z_6) menggunakan taraf signifikansi $\alpha = 0,05$ secara serentak memperoleh hasil yaitu variabel prediktor lokal Z_2 dan Z_6 memiliki pengaruh terhadap variabel respon secara bersama-sama dalam

pemodelan dengan pembobot *Mixed GWR* dengan pembobot *fixed gaussian*. Hasil ujinya terdapat pada tabel 5.

Tabel 5. Pengujian Parameter Lokal Model *Mixed GWR* Serentak

Sumber Variansi	Derajat bebas	Jumlah kuadrat	Rata-rata kuadrat	F-Hitung	P-Value
Improvement	23,77938	73,471251	34,49597	2,12985	0,02264
<i>Mixed GWR</i>	32,68733	47,41484	1,45067		
Reduced	56,46671	120,88973			

Pengujian selanjutnya adalah pengujian parsial signifikansi parameter model, dilakukan guna menguji apakah variabel prediktor, baik yang bersifat global maupun lokal, memiliki pengaruh yang signifikan terhadap variabel respon pada model *Mixed GWR*. Pengujian pada variabel yang bersifat global memperoleh hasil bahwa variabel global $Z_3, Z_4,$ dan Z_5 berpengaruh signifikan terhadap model, sementara variabel Z_1 dan Z_7 tidak berpengaruh signifikan. Variabel lokal diuji secara lokal di tiap kabupaten/kota. Peta kelompok model *Mixed GWR* terdapat pada Gambar 2.



Gambar 2. Kelompok Kabupaten dan Kota berdasar Model *Mixed GWR*

Kelompok-kelompok kabupaten dan kota berdasarkan variabel yang memengaruhinya yang terbentuk terdapat pada tabel 6.

Tabel 6. Kelompok Variabel yang Memiliki Pengaruh Signifikan pada Model *Mixed GWR*

Ke-lompok	Variabel Signifikan	Kabupaten/Kota
1	$Z_1, Z_2, Z_3,$ dan Z_5	Kab Boyolali, Kab Klaten, Kab Sukoharjo, Kab Wonogiri, Kab Karanganyar, Kab Sragen, Kota Surakarta
2	$Z_1, Z_2,$ dan Z_3	Kab Magelang, Kab Grobogan, Kab Blora, Kab Rembang, Kab Pati, Kab Kudus, Kab Jepara, Kab Demak, Kab Semarang, Kab Temanggung, Kab Kendal, Kota Magelang, Kota Salatiga, Kota Semarang
3	Z_1	Kab Cilacap, Kab Banyumas, Kab Purbalingga, Kab Banjarnegara, Kab Kebumen, Kab Purworejo, Kab Wonosobo, Kab Batang, Kab Pekalongan, Kab Pemalang, Kab Tegal, Kab Brebes, Kota Pekalongan, Kota Tegal

Statistik *Akaike Information Criterion* (AIC), *adjusted R²*, serta MSE dari masing-masing model digunakan untuk mendapatkan model terbaik, dan diperoleh hasil seperti pada tabel 7.

Tabel 7. Perbandingan Regresi Global, GWR, dan *Mixed GWR*

Model	AIC	Adjusted R ²	MSE
Regresi Global	66,21815	0,645995	104,63621
GWR	46,0018	0,7882269	67,6032299
<i>Mixed GWR</i>	41,43881	0,8224861	56,666876

Berdasarkan tabel 7, nilai AIC dan MSE minimum serta *adjusted R²* maksimum dimiliki oleh model *Mixed GWR* sehingga model *Mixed GWR* menggunakan fungsi pembobot *fixed gaussian* ialah model yang terbaik.

5. KESIMPULAN

Pemodelan kasus kematian ibu hamil (*maternal mortality*) di Provinsi Jawa Tengah tahun 2021 terdeteksi asumsi heteroskedastisitas, sehingga dilakukan pemodelan dengan GWR yang mengestimasi parameter berbeda-beda di setiap lokasi pengamatannya. Dalam model GWR, diperoleh hasil pengujian bahwa tiap variabel berpengaruh signifikan secara lokal di kabupaten/kota tertentu. Variabel Z_2 (jumlah perawat), Z_3 (jumlah klinik pratama), serta Z_5 (rumah tangga/RT yang memiliki akses sanitasi layak) berpengaruh secara lokal dalam kasus kematian ibu di Provinsi Jawa Tengah, sedangkan variabel sisanya berpengaruh secara global, sehingga diperlukan pemodelan *Mixed GWR*. Model *Mixed GWR* yang terbentuk menunjukkan variabel global Z_1 berpengaruh secara signifikan terhadap model, sedangkan variabel global lainnya yaitu Z_4 tidak berpengaruh secara signifikan. Variabel lokal Z_2, Z_3 , dan Z_5 berpengaruh secara signifikan di beberapa kabupaten/kota. Perbandingan model yang terbentuk dilakukan dengan menggunakan nilai AIC, MSE, dan *adjusted R²*. Model *Mixed GWR* dengan pembobot *fixed gaussian* memiliki nilai AIC dan MSE paling minimum serta *adjusted R²* paling maksimum, sehingga model *Mixed GWR* dengan pembobot *fixed gaussian* dipilih sebagai model terbaik.

DAFTAR PUSTAKA

- BPS Provinsi Jawa Tengah. 2022. URL: <https://jateng.bps.go.id/>
- Calvert, C., et al. 2020. Direct maternal deaths attributable to HIV in the era of antiretroviral therapy: evidence from three population-based HIV cohorts with verbal autopsy. *National Library of Medicine*, Vol. 34, No. 9: 1397-1405.
- Fotheringham, A.S., Brunson, C., dan Charlton, M. 2002. *Geographically Weighted Regression*. Chichester, UK: John Wiley and Sons.
- Girum, T. dan Wasie, A. 2017. Correlates of Maternal Mortality in Developing Countries: An Ecological Study in 82 Countries. *Matern Health, Neonatol and Perinatol. BioMed Central*, Vol. 19, No. 3.
- Jeong W., Jang, S.I., Park, E.C., dan Nam, J.Y. 2020. The Effect of Socioeconomic Status on All-Cause Maternal Mortality: A Nationwide Population-Based Cohort Study. *Int J Environ Res Public Health*, Vol. 17, No. 12.
- Kemendes Indonesia. 2022. Profil Kesehatan Indonesia 2021. URL: <https://www.kemkes.go.id/downloads/resources/download/pusdatin/profil-kesehatan-indonesia/Profil-Kesehatan-2021.pdf>
- Leung, Y., Mei, C.L., dan Zhang, W.X. 2000. Statistical Tests for Spatial Nonstationarity Based on the Geographically Weighted Regression Model. *Environment and Planning A: Economy and Space*, Vol. 32, No. 1: 9–32.

- Purhadi dan Yasin, H. 2012. Mixed Geographically Weighted Regression Model Case Study: The Percentage Of Poor Households In Mojokerto 2008. *European Journal of Scientific Research*, Vol. 69, No. 2: 188-196
- Sitaula, S., Basnet, T., Agrawal, A., Manandhar, T., Das, dan Shrestha, P. 2021. Prevalence and risk factors for maternal mortality at a tertiary care centre in Eastern Nepal-retrospective cross sectional study. *BMC Pregnancy and Childbirth* Vol. 21, No. 1.
- Thoma, M. dan Declercq, E. 2022. All-Cause Maternal Mortality in the US Before vs During the COVID-19 Pandemic. *JAMA Network Open* Vol. 5, No. 6.
- World Health Organization. 2023. Maternal mortality. URL: <https://www.who.int/newsroom/fact-sheets/detail/maternal-mortality>